EDISI REVISI
Joseph E. Bowles
ANALISA
DAN DISAIN PONDASI
JILID I
PENERBIT-ERLANGGA-JAKARTA

ANALISA DAN DISAIN PONDASI

Jilid 1

Edisi Ke 3

Joseph E. Bowles
Consulting Engineer/Software Consultant
Engineering Computer Software
Peoria, Illionis

Alih Bahasa:

Pantur Silaban, Ph.D.
Institut Teknologi Bandung

Diedit dan direvisi oleh:

Ir. Wira M.Sc.
Ir. Johan Kelanaputra Hainim

1986
PENERBIT ERLANGGA
Jl. Kramat IV No. 11
Jakarta 10420
(Anggota IKAPI)

Judul Asli : *FOUNDATION ANALYSIS AND DESIGN*, 3 rd Edition

Diterjemahkan oleh : **Pantur Silaban, Ph. D**
Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung.

Diedit dan direvisi oleh: **Ir. Wira M.Sc. (civil engineer)**
Universitas Kristen Indonesia
Ir. Johan Kelanaputra Hainim

Setting dan Layout oleh Bagian Produksi ***Penerbit Erlangga.***
Di cetak oleh: CV Teruna Grafika

Edisi Bahasa Indonesia
Cetakan pertama: 1983
Cetakan kedua yang disempurnakan: 1986

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR

Edisi ini adalah yang terakhir di dalam proses yang terus-menerus untuk menghasilkan sebuah ikhtisar yang terbaru dari metoda dan prosedur analisa dan perencanaan pondasi. Sebagaimana halnya di dalam edisi terdahulu, topik utama buku ini ditekankan pada hubungan antara elemen-elemen konstruksi dengan tanah di bawahnya. Di sinilah letaknya pusat perhatian yang utama dari teknik pondasi menurut pendapat pengarang dan banyak sekali orang lainnya. Teknik bendungan, urugan, dan tanggul, serta aliran air dalam massa tanah mungkin lebih pantas dimasukkan dalam kategori umum bidang geoteknik. Dalam beberapa kasus, aliran air dalam tanah bisa merupakan faktor utama dalam perencanaan dan pembuatan pondasi; atas alasan ini, latar belakang mengenai topik ini telah dimasukkan.

Kebanyakan insinyur sekarang mengakui bahwa tidaklah mungkin atau tidaklah sangat praktis untuk menganggap (mengidentifikasi) teknik pondasi sebagai mekanika tanah/sifat-sifat tanah dengan insinyur struktur sebagai perencana elemen pondasi. Seorang insinyur pondasi haruslah benar-benar mengenal aspek geoteknik daripada tanah dan juga kelakuan struktur yang dihasilkan oleh interaksi pondasi-tanah yang umumnya kompleks. Pernyataan yang belakangan ini mencerminkan falsafah perencanaan umum yang terkandung di dalam buku pelajaran ini.

Saya telah melakukan perbaikan yang cukup luas, akan tetapi, tidak satupun dari judul bab yang diubah dan dalam banyak hal judul bagian tetap dipertahankan. Bab 2, 8, 9, dan 16 hampir seluruhnya telah ditulis kembali dan banyak perubahan telah dilakukan pada Bab 3, 4, 10, dan 11. Hal ini dilakukan untuk menghasilkan urutan pokok pembicaraan yang lebih logis dan untuk memasukkan metodologi baru yang sedang dalam peralihan ketika cetakan kedua sedang ditulis kembali. Kira-kira 80 persen bahan

dalam buku ini dinyatakan dalam satuan SI untuk mengikuti kecenderungan umum dalam buku-buku pelajaran dan pemakaian SI yang diperkirakan akan terus dipakai di masa yang akan datang.

Di dalam banyak hal tidak ada rumus/metodologi perencanaan yang unik, dan satu atau lebih dari beberapa alternatif cenderung lebih disukai oleh para insinyur tertentu atau di dalam kawasan geografis tertentu. Saya telah berusaha menyajikan alternatif-alternatif tersebut yang nampaknya cukup banyak digunakan karena terbatasnya tempat dalam buku ini. Bila dianggap praktis, contoh-contoh dianalisa dengan menggunakan satu atau lebih alternatif sehingga pembaca mendapatkan pengenalan dan kesimpulan mengenai prosedur tersebut. Dalam beberapa contoh, "perasaan" mengenai jawaban yang benar diperoleh dari penggunaan alternatif tersebut – sesuatu yang umum dilakukan dalam bidang teknik di mana data masukan (input) tidak dapat dipastikan – baik sebagai perhitungan langsung maupun sebagai hasil rata-rata dari beberapa alternatif. Saya telah berusaha memasukkan soal-soal contoh yang realistis (dan soal-soal pekerjaan rumah) untuk pembaca buku ini. Kira-kira 50 persen dari soal-soal pekerjaan rumah tersebut adalah baru, dan lebih banyak jawaban dimasukkan daripada dalam cetakan terdahulu.

Beberapa metoda seperti pondasi telapak pada lereng, analisa balok silang untuk pondasi rakit (mat), dan penyelesaian masalah tiang turap dan tiang-pancang lateral dengan menggunakan metoda elemen hingga (finite element) dibandingkan melalui contoh-contoh dengan penyelesaian dari metode lain atau metode alternatif. Hal ini dilakukan untuk menunjukkan bahwa metode baru ini memadai. Sambil lalu harus diperhatikan bahwa pemecahan elemen hingga yang dijabarkan di sini untuk balok, dinding papan turap, dan tiang-pancang lateral adalah yang paling luas digunakan. Pengarang berpendapat bahwa pemecahan paling sederhana yang menghasilkan sebuah perencanaan yang ekonomis dan memuaskan adalah yang lebih disukai. Pemecahan-pemecahan yang memerlukan pengetahuan matematik yang hanya dapat difahami oleh beberapa orang saja untuk menghasilkan perbaikan perhitungan yang sangat kecil dengan sebuah model matematik yang didasarkan pada data tanah yang sangat tak menentu, adalah sesuatu yang tidak sangat praktis. Banyak pemecahan sejenis ini tidak lebih hanya merupakan halaman jurnal (majalah) teknik dan yang lainnya segera menghilang dari praktek teknik dalam waktu yang singkat.

Saya telah memasukkan kira-kira 560 referensi sehingga hampir setiap pokok pembicaraan dapat diteliti dengan lebih mendalam. Saya telah mencoba menghindar penggunaan referensi yang sulit didapatkan oleh pembaca umumnya. Kebanyakan bahan yang bermanfaat diterbitkan dalam suatu bentuk oleh ASCE, ASTM, TRB, CGJ, pada konferensi bidang keahlian khusus atau di dalam jurnal ICSMFE, yang tidak terlalu sukar difahami. Saya telah mempertahankan daftar singkatan publikasi (termasuk yang di atas) pada permulaan daftar pustaka untuk memperkecil ukuran daftar tersebut. Diharapkan bahwa tidak ada hasil karya yang penting yang telah diabaikan; akan tetapi, untuk menghemat ruangan tidak semua makalah yang berkaitan dengan topik yang diberikan disebutkan di sini. Pada umumnya makalah yang dimasukkan adalah makalah terbaru yang mempunyai liputan daftar pustaka yang paling baik. Saya mengharapkan juga bahwa saya tidak menyakiti perasaan para pengarang yang lebih muda pada referensi

yang dikarang bersama-sama dengan menggunakan istilah "dengan kawan-kawan" ("et al.") bila pengarangnya terdiri dari dua orang atau lebih.

Saya ingin menyatakan penghargaan kepada banyak pemakai buku ini baik di Amerika Serikat maupun di negara-negara lain yang telah menuliskan atau membuat komentar atau kritik yang membangun atau sekedar menanyakan keterangan mengenai sesuatu prosedur. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada mereka yang ikut serta dalam penyelidikan pemakai buku McGraw-Hill untuk menyediakan masukan bagi edisi ini; di antaranya adalah: Jack Bakos dari Youngstown State University; William Baron dari Clemson University; William Gotolski dari Pennsylvania State University; dan Roy V. Snedden dari University of Nebraska. Saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada pemeriksa terakhir naskah ini, William Baron dari Clemson University.

Akhirnya saya menghargai kontribusi yang cukup banyak dari isteri saya Faye, yang telah membantu seperti biasanya dengan pengetikan dan banyak pekerjaan lain untuk menghasilkan naskah ini.

Joseph E. Bowles

Bab 1

PENDAHULUAN

1-1 PONDASI – DEFINISI DAN TUJUAN

Semua konstruksi yang direncanakan akan didukung oleh tanah, termasuk gedung-gedung, jembatan, urugan tanah (earth fills), serta bendungan tanah, tanah dan batuan, dan bendungan beton, akan terdiri dari dua bagian. Bagian-bagian ini adalah bangunan atas (superstructure), atau bagian atas, dan elemen bangunan bawah (substructure) yang mengantarai bangunan atas dan tanah pendukung. Dalam hal urugan tanah dan bendungan, garis demarkasi atau batas pemisah antara bangunan atas dan bangunan bawah umumnya tidak jelas. *Pondasi* dapat didefinisikan sebagai bangunan bawah dan tanah dan/atau batuan di sekitarnya yang akan dipengaruhi oleh elemen bangunan bawah dan bebannya.

Insinyur pondasi adalah orang yang berdasarkan pengalaman dan latihan dapat menghasilkan pemecahan-pemecahan untuk persoalan-persoalan perencanaan yang menyangkut pondasi dari sistem yang direncanakan. Di dalam hubungan pengertian ini, *teknik pondasi* dapat didefinisikan sebagai ilmu pengetahuan dan seni yang memakai prinsip-prinsip mekanika tanah dan mekanika teknik bersama-sama dengan penilaian teknik ("seni") untuk memecahkan persoalan elemen perantara (interfacing problem). Insinyur pondasi harus memikirkan bagian-bagian konstruksi yang mempengaruhi pemindahan beban dari bangunan atas ke tanah sehingga stabilitas-tanah yang dihasilkan dan deformasi yang diperkirakan masih dapat ditolerir. Karena geometri perencanaan dan tempat dari elemen bangunan bawah seringkali berpengaruh pada respons/reaksi tanah, maka insinyur pondasi juga harus cukup mengetahui perencanaan struktur.

Beberapa hal praktis yang merupakan bagian dari teknik pondasi adalah:

1. Integrasi visual dari bukti geologis di lapangan dengan suatu data pengujian lapangan dan pengujian laboratorium.
2. Menetapkan penyelidikan lapangan dan program pengujian laboratorium yang memadai.
3. Merencanakan elemen-elemen bangunan bawah supaya dapat dibangun — dan seekonomis mungkin.
4. Pengetahuan akan metode pelaksanaan praktis dan toleransi konstruksi yang kemungkinan besar akan didapatkan. Penetapan toleransi yang sangat ketat dapat mempunyai pengaruh yang sangat besar pada biaya pondasi.

Hal-hal tersebut di atas ini tidak dapat ditentukan langsung secara kuantitatif sehingga memerlukan pemakaian akal sehat yang cukup banyak.

Pengertian yang mendalam mengenai prinsip-prinsip mekanika tanah yang berkaitan dengan stabilitas, deformasi, dan aliran air merupakan dasar yang penting untuk praktek teknik pondasi yang berhasil. Hal yang hampir sama pentingnya adalah pengertian mengenai proses geologis yang terlibat di dalam pembentukan massa tanah. Sekarang diketahui bahwa stabilitas tanah dan deformasi bergantung pada sejarah tegangan tanah. Sudah merupakan hal yang lazim sampai akhir-akhir ini untuk mengasosiasikan teknik pondasi hanya dengan hal-hal yang menyangkut mekanika tanah, dan meninggalkan elemen perantara (interfacing elements) untuk dikerjakan oleh perencana struktur (atau orang lain). Kecenderungan sekarang ini ialah teknik pondasi diakui sebagai suatu persoalan sistem dan tidak dapat digolongkan dengan baik seperti yang dilakukan oleh beberapa orang. Para pembaca bisa membuktikan kebenaran pernyataan di atas ketika mempelajari buku pelajaran ini.

Ilmu pengetahuan mekanika tanah dan hubungannya dengan proses-proses geologis telah cukup banyak mengalami kemajuan selama waktu lima puluh tahun yang silam. Akan tetapi, karena variabilitas tanah alami (natural variability of soil) dan persoalan-persoalan yang berkaitan dengan pengujian, yang akan dibahas lebih jauh dalam Bab 3, maka perencanaan sebuah pondasi masih bergantung cukup banyak pada "seni", atau pemakaian putusan teknik. Contoh dari putusan ini adalah penetapan risiko yang diperbolehkan untuk pondasi.

Pembahasan dalam buku ini ditekankan pada analisa dan perencanaan elemen perantara untuk bangunan dan konstruksi penahan (retaining structures) serta prinsip-prinsip mekanika tanah yang terutama dapat diterapkan pada elemen-elemen ini. Elemen-elemen perantara ini meliputi bagian konstruksi di dekat permukaan tanah seperti pondasi telapak, dan pondasi rakit (mat), pondasi dalam seperti tiang-pancang dan kaison. Konstruksi penahan yang dibuat dari beton (biasanya disebut dinding penahan tanah) dan logam (seperti dinding papan turap) akan ditinjau dalam bab-bab selanjutnya. Prinsip-prinsip mekanika tanah mencakup stabilitas, termasuk efek-efek air tanah, dan analisa deformasi. Stabilitas tanah seringkali dapat diperbesar dengan berbagai cara perbaikan; yang paling lazim adalah dengan pemadatan, dan beberapa cara perbaikan yang populer akan ditinjau secara ringkas dalam Bab 6.

1-2 KLASIFIKASI PONDASI

Pondasi untuk konstruksi seperti gedung, mulai dari tempat tinggal yang paling kecil sampai ke gedung bertingkat banyak, dan jembatan dimaksudkan untuk meneruskan beban dari bagunan atas. Beban ini diberikan oleh batang seperti kolom dengan intensitas tegangan yang berkisar antara 140 m Pa untuk baja dan 10 m Pa untuk beton kepada tanah pendukung, yang jarang lebih besar dari 500 kPa tetapi lebih sering berada pada orde 200 sampai 250 kPa. Pembaca dengan mudah dapat memperhatikan bahwa elemen perantara menghubungkan bahan-bahan yang kekuatan tekniknya berbeda sampai beberapa ratus kali. Penyaluran beban dari bangunan atas ke tanah bisa dilakukan dengan memakai:

1. Pondasi dangkal — yang disebut pondasi telapak, jalur, atau pondasi rakit. Kedalaman pondasi ini umumnya adalah $D \leqslant B$ (lihat Bab 4).
2. Pondasi dalam — tiang-pancang atau kaison dengan $D > 4$ sampai $5B$ (lihat Bab 16 sampai 19).

Setiap konstruksi yang digunakan untuk menahan tanah atau massa yang serupa seperti butiran, batubara, atau bijih logam di dalam bentuk geometris yang lain daripada yang terdapat di alam akibat pengaruh gravitas disebut konstruksi penahan. Setiap pondasi yang tak digolongkan sebagai pondasi dangkal, pondasi dalam, atau konstruksi penahan bisa disebut pondasi *khusus.*

Jenis-jenis pondasi yang khas adalah:

1. Pondasi untuk gedung-gedung (baik yang dangkal maupun yang dalam).
2. Pondasi untuk cerobong udara, menara radio dan menara televisi, pilar jembatan, peralatan industri, dan lain sebagainya (baik yang dangkal maupun yang dalam).
3. Pondasi untuk pelabuhan atau bangunan laut (mungkin dangkal atau dalam dan banyak menggunakan '
4. Pondasi untuk mesin yang berputar, mesin bolak-balik, dan mesin bergetar, dan untuk turbin, generator, dan lain sebagainya (baik yang dangkal maupun yang dalam mungkin memerlukan pengontrol getaran).
5. Elemen-elemen pondasi untuk mendukung galian atau menahan massa tanah seperti untuk kepala (abutment) dan pilar jembatan, atau menahan butiran bijih logam, batubara, dan lain sebagainya, (dinding penahan atau konstruksi dinding papan rap).

Pondasi untuk gedung sangat banyak macamnya sedang pondasi untuk jenis bangunan atas yang lain dibangun dalam jumlah yang lebih sedikit.

1-3 LOKASI PONDASI DAN PERTIMBANGAN EKONOMI

Pondasi gedung harus memadai agar konstruksi di atasnya bisa berfungsi dengan memuaskan dan aman untuk ditempati. Pondasi-pondasi lain harus mampu melakukan fungsi yang semestinya dengan cara yang aman dan memuaskan; akan tetapi, biasanya konstruksi gedung memiliki kriteria yang lebih ketat untuk keselamatan dan daya guna (performance) daripada konstruksi-konstruksi lain — kekecualiaannya adalah bangunan pem-

bangkit tenaga nuklir, turbin pembangkit tenaga listrik, dan jenis-jenis tertentu dari perlengkapan antenna-radio. Pondasi bangunan pembangkit tenaga nuklir memerlukan kriteria perencanaan/dayaguna yang sangat ketat karena alasan keamanan. Pondasi lain mendukung peralatan mesin yang sangat mahal, yang seringkali sangat sensitif terhadap deformasi tanah yang kecil.

Pada waktu belakangan ini, dan setelah adanya musibah karena beberapa keruntuhan yang sebenarnya dapat dihindarkan, perencanaan bendungan yang memakai tanah sebagai bahan konstruksi utama sekarang dibuat dengan lebih berhati-hati. Perhatikan bahwa prinsip mekanika tanah dan geologi lebih banyak diterapkan pada bendungan tanah dibanding pada masalah teknik pondasi lainnya. Selain kriteria yang ketat pada bangunan atas, ketidakpastian dan aliran air yang melalui tanah dasar harus ditinjau dengan seksama. Masalah lain yang perlu ditinjau adalah deformasi tanah dasar dan penyusutan pada bangunan atas (bahan urugan bendungan) yang tidak dapat dihindarkan. Perhatian yang seksama pada deformasi yang belakangan ini bermanfaat untuk menghindari retak dasar bendungan dan bahaya pengikisan (piping) akibat retak tersebut, atau retak puncak dan keruntuhan pada puncak yang berkaitan dengan retak puncak.

Hampir setiap konstruksi yang layak dapat dibangun dan didukung dengan aman jika biayanya tidak dibatasi. Sayang sekali, keadaan seperti ini, seandainya pernah terjadi pun, jarang sekali dijumpai dalam praktek, dan insinyur pondasi dihadapkan pada pilihan yang sulit untuk membuat keputusan dengan kondisi yang jauh dari keadaan ideal tersebut. Juga, walaupun suatu kesalahan dapat ditutup-tutupi, namun akibat dari kesalahan tersebut tidak dapat disembunyikan dan dapat muncul dalam waktu yang relatif singkat – dan mungkin sebelum masa jaminan yang ditetapkan habis. Kasus-kasus yang pernah dilaporkan ialah cacat pada pondasi (seperti dinding yang retak atau peralatan mekanis yang rusak) yang terlihat beberapa tahun kemudian – juga ada kasus di mana cacat-cacat terlihat selama pelaksanaan bangunan atas atau segera setelah pelaksanaan selesai.

Karena bangunan bawah terkubur atau berada di bawah bangunan atas, perbaikan pondasi dalam konfigurasi seperti ini akan sangat sukar jika ketidakmampuan pondasi diketahui sesudah bangunan atas berada di tempat; oleh karena itu, perencanaan dalam praktek dilakukan dengan konservatif (berlebihan). Perencanaan yang berlebih sebesar satu atau dua persen pada bangunan bawah akan tertutup oleh manfaat lebih besar yang diperoleh bila dibanding dengan perencanaan bangunan atas yang berlebihan.

Perencanaan selalu dihadapkan pada pertanyaan mengenai faktor-faktor yang membuat sebuah perencanaan ekonomis dan aman sedangkan pada saat yang bersamaan menghadapi heterogenitas tanah alami di lapangan. Dewasa ini persoalan tersebut mungkin diperumit oleh kelangkaan tanah sehingga reklamasi (pendayagunaan) perlu dilakukan untuk memperoleh kawasan yang telah dipakai sebagai tempat penimbunan buangan saniter (sanitary), sampah, atau bahkan sisa bahan yang berbahaya. Faktor lain yang mempersukar ialah pekerjaan konstruksi dapat mengakibatkan sifat tanah berubah banyak dari sifat-sifat yang digunakan dalam analisa/perencanaan pondasi yang semula. Faktor-faktor ini membuat perencanaan pondasi menjadi sangat subyektif dan sukar untuk dinilai sehingga dua firma perencana mungkin akan menghasilkan dua perencana-

an yang sama sekali berbeda tetapi dengan dayaguna yang sama-sama memuaskan. Dalam hal ini masalah biaya akan menentukan perencanaan mana yang lebih disukai.

Persoalan ini dan banyaknya pemecahan yang mungkin dilakukan akan bergantung, misalnya, pada hal-hal berikut:

1. Apakah kriteria dari penurunan (settlement) yang dapat ditolerir dan memadai; rapa banyak biaya ekstra yang harus dikeluarkan untuk memperkecil penurunan yang diperkirakan misalnya dari 30 sampai 15 mm?
2. Apakah nasabah (klien) sudah setuju dengan program penyelidikan tanah yang memadai? Jenis variabilitas tanah yang bagaimanakah yang ditunjukkan oleh pemboran tanah? Apakah pemboran tambahan akan memperbaiki rekomendasi pondasi?
3. Dapatkah gedung tersebut didukung oleh tanah dengan menggunakan:
   a. Pondasi telapak/jalur (spread footings) — paling murah
   b. Pondasi rakit (mats) — biayanya sedang
   c. Tiang-pancang atau kaison — beberapa kali biaya pondasi telapak.
4. Apakah konsekuensi dari kegagalan pondasi terhadap keselamatan orang banyak? Tuntutan hukum apakah yang mungkin akan diajukan jika pondasi tidak berfungsi secara memadai?
5. Apakah tersedia cukup uang untuk pondasi tersebut? Kadang-kadang terjadi bahwa biaya pondasi terlalu besar sehingga proyek tersebut secara ekonomis tidak menguntungkan. Mungkin lokasi bangunan perlu dipindahkan ke tempat lain yang biaya pondasinya dapat ditolerir.

   Bagaimanakah kemampuan tenaga konstruksi setempat? Kita tidak mungkin merencanakan sebuah pondasi yang rumit jika tak ada orang yang dapat melaksanakannya, atau jika pondasi tersebut begitu berbeda di dalam perencanaan sehingga kontraktor memasukkan suatu faktor "ketidakpastian" yang besar dalam penawarannya.
7. Bagaimanakah kemampuan teknik dari insinyur pondasi? Walaupun faktor ini dicantumkan paling akhir, namun faktor ini bukanlah yang paling tak penting dalam perencanaan yang ekonomis. Jelas bahwa para insinyur mempunyai tingkat kemampuan yang berbeda-beda sama halnya seperti dalam profesi lain (ahli hukum, dokter, profesor, dan lain sebagainya) dan dalam bidang jasa seperti tukang kayu, tukang listrik, dan tukang cat.

Jika pondasi gagal karena penghematan biaya (pada dasarnya hal ini berarti setuju terhadap resiko yang lebih tinggi), maka nasabah cenderung akan segera melupakan keuntungan finansial sementara yang diperoleh. Pada tahap ini, dengan menghadapi kerusakan berat dan/atau tuntutan hukum, maka nasabah adalah orang yang berada dalam keadaan mental yang paling buruk di antara semua orang yang terlibat. Jadi, orang harus selalu mengingat bahwa keuntungan finansial absolut mungkin tidak menghasilkan teknik pondasi yang baik.

Insinyur pondasi harus meninjau sistem secara keseluruhan: tujuan bangunan, beban kerja yang mungkin ada selama masa berdirinya, jenis kerangka, profil tanah, metode konstruksi, dan biaya konstruksi untuk sampai pada suatu perencanaan yang konsisten dengan kebutuhan nasabah/pemilik dan tidak banyak merusak lingkungan. Hal ini harus

dilakukan dengan suatu faktor keamanan yang menghasilkan tingkat resiko yang dapat ditolerir oleh masyarakat umum dan pemilik.

Oleh karena adanya beberapa ketidakpastian seperti yang disebutkan di atas, maka asuransi pertanggungjawaban dan resiko untuk orang-orang yang bergerak dalam bidang teknik pondasi menjadi sangat mahal. Di dalam usaha-usaha untuk mengurangi biaya ini dan menghasilkan sebuah perencanaan yang menyatukan pendapat dari beberapa firma perencanaan (yakni, sebuah perencanaan menurut "konsensus"), banyak orang berpendapat (dan kebiasaan ini telah dilakukan dalam beberapa bidang profesi) bahwa insinyur pondasi harus menyerahkan perencanaan yang diusulkan kepada sebuah badan yang terdiri dari para insinyur ahli yang berpengalaman untuk "diperiksa lebih lanjut".

1-4 PERSYARATAN-PERSYARATAN UMUM DARI PONDASI

Sebuah pondasi harus mampu memenuhi beberapa persyaratan stabilitas dan deformasi seperti:

1. Kedalaman harus memadai untuk menghindarkan pergerakan tanah lateral dari bawah pondasi — khususnya untuk pondasi telapak dan pondasi rakit.
2. Kedalaman harus berada di bawah daerah perubahan volume musiman yang disebabkan oleh pembekuan, pencairan, dan pertumbuhan tanaman.
3. Sistem harus aman terhadap penggulingan, rotasi, penggelinciran, atau pergeseran tanah (kegagalan kekuatan geser).
4. Sistem harus aman terhadap korosi atau kerusakan yang disebabkan oleh bahan berbahaya yang terdapat di dalam tanah. Hal ini merupakan masalah utama pada pendayagunaan kembali tanah dengan timbunan saniter dan kadang-kadang pada pondasi bangunan di laut.
5. Sistem harus cukup mampu beradaptasi terhadap beberapa perubahan geometri konstruksi atau lapangan selama proses pelaksanaan dan mudah dimodifikasi seandainya perubahan perlu dilakukan.
6. Metode pemasangan pondasi harus seekonomis mungkin.
7. Pergerakan tanah keseluruhan (umumnya penurunan) dan pergerakan diferensial harus dapat ditolerir oleh elemen pondasi dan elemen bangunan atas.
8. Pondasi dan konstruksinya harus memenuhi syarat standar untuk perlindungan lingkungan.

1-5 PEMILIHAN PONDASI

Berbagai jenis pondasi yang disebutkan dalam Tabel 1-1 akan dibahas lebih terperinci dalam bab-bab selanjutnya. Akan tetapi, pada tahap ini pengetahuan tentang jenis-jenis pondasi dan pemakaian potensialnya akan sangat bermanfaat. Bila air tanah ada tapi kedalamannya berada di bawah kedalaman pondasi telapak (atau galian), maka hal ini tidak menjadi persoalan. Jika air tanah berada dalam daerah konstruksi, maka air tanah tersebut harus dipompa ke luar sehingga muka air tanah turun dengan bantuan dinding beton atau adukan (grout) silinder baja, atau cara-cara lain yang sesuai.

Bila air tanah dikeluarkan, atau bila konstruksi berada di bawah muka air tanah sehingga air tanah mungkin tercemar (mengalami polusi), maka persetujuan dari lembaga pemerintah yang menangani masalah tersebut pada umumnya diperlukan untuk memperkecil efek lingkungan.

1-6 SATUAN SI DAN Fps

Buku pelajaran ini akan menggunakan satuan kaki-pon-detik (Fps) dan satuan SI. Satuan SI akan diterapkan pada hal-hal yang sudah diterima secara umum dan "penggunaan yang lebih disukai". Soal-soal akan memakai satuan SI atau Fps – tanpa dicampuradukan. Dalam buku ini, salah satu himpunan satuan digunakan tanpa menyertakan sistem satuan lainnya secara bersamaan (dengan menuliskannya dalam kurung), seperti yang biasa dilakukan pada beberapa buku lainnya. Metode penggunaan ini akan membantu pembaca dalam peralihan dari Fps ke SI karena selalu berhadapan dengan kedua himpunan satuan tersebut secara bersamaan.

Penggunaan yang lebih disukai meliputi beberapa satuan massa dan tekanan. Alasannya adalah kebanyakan peralatan laboratorium tanah dapat bertahan selama bertahun-tahun (timbangan, pengukur tekanan, jangka lengkung, dan lain sebagainya), dan tidak banyak laboratorium (malah di negara-negara yang menggunakan SI pun) yang mempunyai peralatan ini dalam satuan SI yang sebenarnya.

Dalam buku ini kita akan mendefinisikan *kerapatan* (density) sebagai satuan massa [kg/m^3, kg/cm^3, atau g/cm^3 dan lb/kaki^3 (pcf)]. *Berat satuan* mempunyai satuan gaya dan dinyatakan dalam satuan pound atau kips/kaki^3 atau kilonewton/m^3 (kN/m^3). Satuan kilonewton (SI) akan digunakan untuk hampir semua kuantias tanah. Hal ini dikarenakan satuan newton terlalu kecil dan satuan mega-newton terlalu besar (kecuali untuk tegangan baja dan tegangan beton).

Bila satuan kN digunakan, tekanan tanah seperti kapasitas antara butiran (intergranular capacity) dan daya dukung bersatuan kN/m^2 (kilopascal, kPa). Dalam sistem Fps, satuan tekanan yang selaras adalah kips/kaki^2 (ksf).

Faktor konversi yang sangat berguna untuk diingat adalah faktor untuk mengubah kerapatan massa dalam g/cm^3 menjadi kN/m^3 atau pcf.

1 g/cm^3 = 9,807 kN/m^3 (sebenarnya 9,80655 tetapi dibulatkan)
1 g/cm^3 = 62,4 pcf
1 ksf = 47,88 kPa (misalkan, 50 kPa untuk pemakaian umum).

Berat satuan (unit weight) air adalah 62,4 pcf atau 9,807 kN/m^3, dan air mempunyai kerapatan sebesar 1 g/cm^3 atau 1000 kg/m^3.

Berat satuan tanah biasanya akan berkisar dari

Fps : 90 sampai 130 pcf
SI : 14 sampai 21 kN/m^3

Perhatikan: Jika berat satuan γ disebutkan sebesar 0,1 pcf, maka kita harus melaporkannya 0,01 kN/m^3 agar ketelitiannya sebanding.

Satuan Fps yang menyatakan beban dalam ton dan tekanan dalam ton/kaki^2 dahulu

agak banyak digunakan baik dalam pengujian lapangan maupun pengujian tertentu yang dilakukan di laboratorium. Hal ini disebabkan satuan Eropa sebesar 1 kg/cm^2 yang sangat banyak digunakan hampir sama dengan 1 ton/kaki^2 (lihat Tabel 1-2) yang menggunakan 2000 lb ton. Buku ini hanya akan menggunakan kips, pound, dan kilonewton untuk satuan-satuan ini, terutama agar konsisten. Pembaca harus memperhatikan dengan teliti sumber dan pengertiannya bila satuan "ton" digunakan. Kadang-kadang, tetapi tidak selalu, hal itu menyatakan metrik ton sebesar 1000 kg. Pada beberapa literatur metrik ton ditulis "tonne" dan menyatakan ton panjang (long ton) sebesar 2240 lb.

1-7 KETELITIAN PERHITUNGAN TERHADAP KETEPATAN PERENCANAAN

Kalkulator saku dan kalkulator meja, dan komputer digital, bisa menghitung dengan ketelitian 10 sampai 14 angka. Hal ini memberi ketepatan fiktif yang sangat tinggi pada kuantitas yang dihitung, yang nilai masukannya mungkin mempunyai ketepatan perencanaan yang hanya 10 sampai 30 persen dari nilai numerik yang digunakan. Pembaca harus menyadari hubungan antara ketepatan yang sesungguhnya dan ketepatan yang dihitung ketika memeriksa data contoh dan hasil. Pengarang berusaha mempertahankan ketepatan yang dapat diperiksa dengan menuliskan nilai antara (bila menggunakan kalkulator saku); ketepatan nilai antara ini harus dipakai oleh pembaca sebagai masukan untuk memeriksa langkah-langkah berikutnya. Jika nilai antara ini tidak digunakan, jawaban yang dihitung bisa berbeda sebesar 0,1. Pembaca juga harus menyadari bahwa penyusunan huruf, perekaman, dan kesalahan pengetikan tidak dapat dihindarkan, khususnya tanda kurung yang salah letak dan salah baca 3 untuk 8, dan lain sebagainya.

Pembaca seharusnya bisa menghasilkan kembali hampir semua angka-angka dalam contoh soal sampai ketelitian 0,1 atau kurang, kecuali jika ada kesalahan penyusunan dan pengetikan huruf (atau lainnya) yang tidak disengaja. Perbedaan yang lebih besar mungkin akan diperoleh jika pembaca menggunakan data yang diinterpolasi dan pengarang memakai data "eksak" dari hasil perhitungan komputer yang tidak diinterpolasi. Dalam hal ini, umumnya pembaca akan diperingatkan agar waspada terhadap perbedaan hasil perhitungan. Contoh-contoh soal dimasukkan terutama untuk menjabarkan prosedur dan bukan untuk ketelitian numerik, dan pemakai harus menyadari falsafah yang mendasari contoh soal tersebut ketika mempelajarinya.

TABEL 1-1 JENIS-JENIS PONDASI DAN KEGUNAANNYA

Jenis Pondasi	Kegunaan	Kondisi tanah yang sesuai
Pondasi telapak, sebar dan dinding	Kolom individu, dinding, pilar jembatan	Sembarang kondisi asalkan daya dukung mampu memikul beban yang bekerja. Dapat diletakkan pada stratum tunggal; lapisan keras di atas lapisan lunak, atau lapisan lunak di atas lapisan keras. Periksa penurunan segera, diferensial dan konsolidasi.
Pondasi rakit	Sama seperti pondasi telapak sebar dan dinding. Beban kolom yang sangat berat. Biasanya memperkecil penurunan diferensial dan penurunan keseluruhan.	Umumnya daya dukung tanah lebih kecil daripada untuk pondasi telapak; lebih setengah luas gedung tertutup oleh pondasi telapak yang individu. Periksa penurunan.
Pondasi tiang-pancang Terapung (Floating)	Dibuat dalam kelompok (paling sedikit 2) untuk memikul beban kolom yang berat, beban dinding: memerlukan kepala tiang/poer (pile cop)	Tanah permukaan dan tanah dekat permukaan jelek. Tanah dengan daya dukung yang tinggi berada 20 – 50 m di bawah ruangan bawah tanah atau permukaan tanah, tetapi dengan menyebarkan beban sepanjang keliling tiang maka kekuatan tanah memadai. Tanah korosif mungkin memerlukan tiang-pancang beton atau kayu.
Tahanan ujung (bearing)	Dibuat dalam kelompok (paling sedikit 2) untuk memikul beban kolom yang berat, beban dinding; memerlukan kepala tiang	Tanah permukaan dan tanah dekat permukaan jelek; tanah dengan daya dukung yang tinggi (tahanan ujung) berada pada 8 – 50 m di bawah permukaan tanah.
Kaison (lubang berdiameter 75 cm atau lebih); umumnya tahanan ujung atau kombinasi tahanan ujung dan gesekan keliling	Beban kolom yang lebih besar daripada untuk tiang-pancang; menghilangkan keperluan kepala tiang dengan menggunakan kaison sebagai perluasan kolom	Tanah permukaan dan tanah dekat permukaan jelek; tanah dengan daya dukung yang tinggi (tahanan ujung) berada pada 8 – 50 m di bawah permukaan tanah.
Dinding penahan, kepala jembatan	Konstruksi penahan permanen	Setiap jenis tanah, tetapi daerah tertentu (Bab 11, 12) di belakang dinding biasanya memerlukan bahan urugan yang khusus.